

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



Rec'd PCT/PTO 06 OCT 2004



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. November 2003 (13.11.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/094338 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H02P 21/00

[DE/DE]; Nuertinger Str. 7, 71522 Backnang-Heiningen  
(DE). RECHBERGER, Klaus [DE/DE]; Porzellanallee  
21, 71638 Ludwigsburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00375

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. Februar 2003 (10.02.2003)

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 19 822.5 3. Mai 2002 (03.05.2002) DE

Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht  
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).

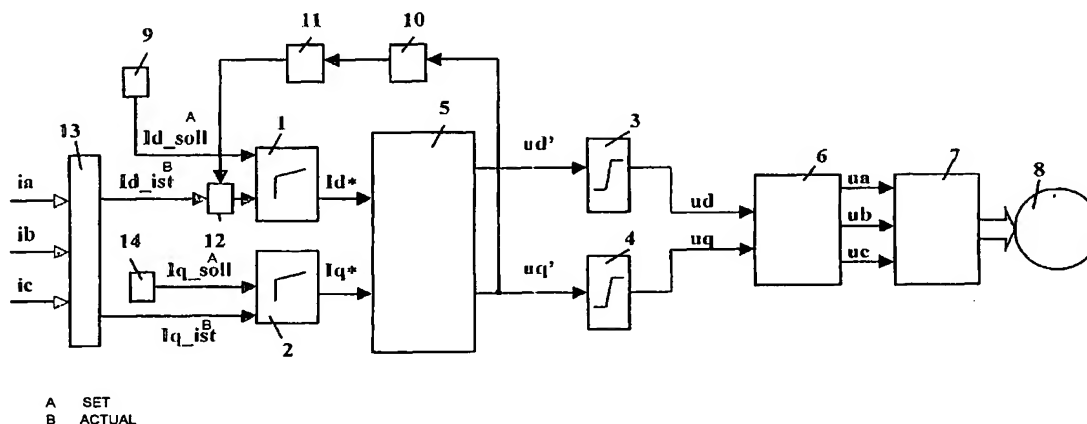
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KUEHNER, Jochen

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE SENSOR REDUCED REGULATION OF A PERMANENT MAGNET EXCITED  
SYNCHRONOUS MACHINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR SENSORREDUZIERTEN REGELUNG EINER PERMANENT-  
MAGNETERREGTEN SYNCHRONMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for field orientated regulation of a permanent magnet excited synchronous machine (8). A longitudinal voltage component ( $u_d$ ) and a transversal voltage component ( $u_a$ ) of the control voltage for the synchronous machine (8) is determined (19) by using a stationary machine model of a decoupling network (19) from a determined transversal current set-point value ( $I_{saSoll}$ ) and information on the rotational speed ( $n$ ). Said voltage components are converted into control impulses ( $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$ ) for the synchronous machine (8). According to the invention, the regulation system does not require any information on the phase flows of the multi-phase-rotational flow system.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur feldorientierten Regelung einer permanentmagnetenerregten Synchronmaschine (8). Aus einem ermittelten Querstrom-Sollwert ( $I_{saSoll}$ ) und einer Information über die Drehzahl ( $n$ ) wird unter Verwendung eines stationären Maschinenmodells einem Entkopplungsnetzwerk (19) eine Längsspannungskomponente ( $u_d$ ) und eine Querspannungskomponente ( $u_a$ ) der Steuerspannung für die Synchronmaschine (8) ermittelt. Diese Spannungskomponenten werden in Ansteuerimpulse ( $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$ ) für die Synchronmaschine (8) umgewandelt. Gemäss der Erfindung benötigt das Regelungssystem keine Informationen über die Phasenströme des Mehrphasen-Drehstromsystems.

WO 03/094338 A1

Verfahren und Vorrichtung zur sensorreduzierten Regelung  
einer permanentmagneterregten Synchronmaschine

Stand der Technik

In der Kraftfahrzeugtechnik ist es bereits bekannt, in den Antriebsstrang eines Fahrzeugs zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Getriebe eine permanentmagneterregte Synchronmaschine (PM-Synchronmaschine) als integrierten Kurbelwellenstartergenerator einzubauen.

Die Regelung einer derartigen PM-Synchronmaschine erfolgt im rotorfeldorientierten Koordinatensystem. Ein Beispiel für eine feldorientierte Stromregelung einer PM-Synchronmaschine mit Pulswechselrichter ist in der Figur 1 gezeigt. Sie beruht auf einer Istwertmessung der Phasenströme eines 3-Phasen-Drehstromsystems und einer auf den gemessenen Istwerten beruhenden Ermittlung einer Längs- und einer Querkomponente der Regelspannung bezüglich der Rotorlage. Der Querstrom ist dabei proportional zum gewünschten Drehmoment.

Bei dieser Regelung werden die aus dem 3-Phasen-Drehstromsystem der PM-Maschine abgeleiteten Phasenströme  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  in einem Park-Transformator 13 in die Ströme  $I_{d\_ist}$  und  $I_{q\_ist}$  eines rechtwinkligen Koordinatensystems umgewandelt. Der Strom  $I_{d\_ist}$  stellt dabei den Istwert für den Längsstrom der Maschine dar. Der Strom  $I_{q\_ist}$  bezeichnet den Istwert für den Querstrom der Maschine.

Der Längsstrom-Istwert  $I_{d\_ist}$  wird über ein Überlagerungsglied 12 einem Längsstromregler 1 zugeführt, der Querstrom-Istwert  $I_{q\_ist}$  als Istwert einem Querstromreg-

ler 2. Das Überlagerungsglied 12 erhält als weiteres Eingangssignal ein Rückkopplungssignal, welches aus der Ausgangsgröße  $u_q'$  eines stationären Entkopplungsnetzwerks 5 erhalten wird. Das stationäre Entkopplungsnetzwerk 5 erfüllt neben der für die Regelung wichtigen Entkopplung auch noch die Aufgabe, in Zusammenarbeit mit den Ausgangsbegrenzern 3 und 4 und einem Anti-Windup-Verfahren am Längsstromregler 1 eine Feldschwächung im oberen Drehzahlbereich zu erzielen. Diese Feldschwächung der PM-Synchronmaschine bei höheren Drehzahlen ist erforderlich, weil sonst die induzierte Maschinenspannung größer wäre als die maximale Stromrichterausgangsspannung. Letztere ist durch die Versorgungsspannung, bei der es sich um die Bordnetzspannung des Kraftfahrzeugs handelt, begrenzt. Bei diesem Feldschwächbetrieb wird der Stromrichter im übersteuerten Zustand betrieben, so dass die Stromrichterausgangsspannung nicht mehr sinusförmig ist.

Dem Sollwerteingang des Längsstromreglers 1 wird ein von einem Längsstrom-Sollwertgeber 9 generiertes Sollwertsignal und dem Sollwerteingang des Querstromreglers 2 ein von einem Querstrom-Sollwertgeber 14 generiertes Sollwertsignal zugeführt. Der Querstrom-Sollwertgeber 14 generiert das Querstrom-Sollwertsignal in Abhängigkeit vom Ausgangssignal eines Batteriespannungssensors.

Am Ausgang des Längsstromreglers 1 wird eine Stellgröße  $I_d^*$  für den Längsstrom und am Ausgang des Querstromreglers 2 eine Stellgröße  $I_q^*$  für den Querstrom zur Verfügung gestellt. Diese Stellgrößen werden dem stationären Entkopplungsnetzwerk 5 zugeführt, welches unter Verwendung der genannten Stellgrößen eine Längsspannungskomponente  $u_d'$  und eine Querspannungskomponente  $u_q'$  für die Regelspannung der PM-Synchronmaschine ermittelt.

Diese Regelspannungskomponenten  $u_d'$  und  $u_q'$ , bei denen es sich um Regelspannungskomponenten im rechtwinkligen Koordinatensystem handelt, werden über die Ausgangsbegrenzer

3 bzw. 4 einem inversen Park-Transformator 6 zugeführt. Dieser hat die Aufgabe, die im rechtwinkligen Koordinatensystem vorliegenden begrenzten Regelspannungskomponenten  $u_d$  und  $u_q$  in Regelspannungskomponenten  $u_a$ ,  $u_b$  und  $u_c$  des 3-Phasen-Drehstromsystems umzuwandeln. Diese werden  
5 in einem Pulswechselrichter 7 in Ansteuerimpulse für die PM-Synchronmaschine 8 umgewandelt.

Die am Ausgang des stationären Entkopplungsnetzwerks 5  
10 ausgegebene Querspannungskomponente  $u_q'$  der Regelspannung wird dem Betragsbildner 10 zugeführt, welcher den Betrag  $|u_q'|$  der genannten Querspannungskomponente ermittelt.

Das Ausgangssignal des Betragsbildners 10 wird als Eingangssignal für einen Schwellwertschalter 11 verwendet.  
15 Überschreitet der Betrag  $|u_q'|$  einen vorgegebenen Schwellenwert, dann wird am Ausgang des Schwellwertschalters 11 der Wert 0 ausgegeben. Unterschreitet der Betrag  $|u_q'|$  den vorgegebenen Schwellenwert, dann wird am Ausgang des  
20 Schwellwertschalters 11 der Wert 1 ausgegeben.

Ausführungsbeispiele für die Ausgestaltung eines Entkopplungsnetzwerks, in welchem ein stationäres Maschinenmodell abgelegt ist, sind in der DE 100 44 181.5 der Anmelderin beschrieben.  
25

Aus der DE 100 23 908 A1 ist ein Verfahren zur Ermittlung der Polradlage einer elektrischen Maschine bekannt, bei der es sich beispielsweise um einen Drehstromgenerator  
30 mit Pulswechselrichter handelt, wobei weiterhin eine Läuferwicklung, ein mit Induktivitäten versehener Ständer und eine zwischen zwei Strangklemmen angeordnete Spannungsquelle vorgesehen sind. Bei diesem Verfahren kann unter Verwendung von Schaltelementen in zwei Stränge ver-  
35 zweigt werden, in denen die jeweiligen Strangspannungsverläufe gemessen werden. Deren Überlagerung ermöglicht eine eindeutige Bestimmung der Polradlage. Beim bekannten

Verfahren sind die Läuferpositionen für jeden der Spannungsverläufe tabellarisch abgelegt.

Weiterhin ist in der Zeitschrift ETEP, Vol. 8, No. 3, May/June 1998, Seiten 157 - 166, eine permanentmagneterregte Synchronmaschine mit Feldschwächbetrieb beschrieben, bei welcher ein großes Verhältnis von Maximal- zu Grundgeschwindigkeit vorliegt. Dies wird durch eine zusätzliche negative D-Komponente des Statorstromes erreicht. Im Rahmen der Regelung der bekannten Synchronmaschine wird eine Messung der Rotorposition unter Verwendung der Ausgangssignale von drei Hall-Sensoren durchgeführt, wobei ein Hall-Sensor jeweils einer der Phasen U, V, W zugeordnet ist.

15

#### Vorteile der Erfindung

Durch die Erfindung wird ein sensorreduziertes Regelungssystem zur Verfügung gestellt, welches keine Stromsensorik bzw. keine Strommessung benötigt. Es erfolgt lediglich eine Messung der Batterieleistspannung und des Polrad- bzw. Lagewinkels, wobei aus letzterem durch ein Differenzieren der Lageinformation nach der Zeit auch Informationen über die Drehzahl abgeleitet werden.

25

Im Generatorbetrieb der PM-Synchronmaschine treten im Vergleich zu konventionellen feldorientierten Regelungssystemen keinerlei Performanceeinbußen auf.

Da PM-Synchronmaschinen als Kurbelwellenstartergeneratoren einsetzbar sind und dort im Sinne einer Hochstromanwendung zum Einsatz kommen, ist das Wegfallen der Notwendigkeit einer Stromsensorik von großem Vorteil, da die erforderliche Stromsensorik bei Hochstromanwendungen besonders aufwendig ist..

35

## Zeichnung

Die beiliegenden Figuren dienen der beispielhaften Erläuterung der Erfindung. Die Figur 1 zeigt ein Blockschaltbild einer herkömmlichen feldorientierten Stromregelung einer PM-Synchronmaschine. Die Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen feldorientierten Stromregelung einer PM-Synchronmaschine. Die Figur 3 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Stromgrundschwingungsfrequenz von der Drehzahl. Die Figur 4 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung des maximalen Winkelfehlers in Abhängigkeit von der Drehzahl.

## Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Die Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen feldorientierten Stromregelung einer PM-Synchronmaschine 8. Bei dieser Regelung ist es nicht notwendig, aus dem Mehrphasen-Drehstromsystem der PM-Maschine Phasenströme abzuleiten und mittels eines Park-Transformators in den Längsstrom-Istwert und den Querstrom-Istwert eines rechtwinkligen Koordinatensystems umzuwandeln.

Die in der Figur 2 dargestellte Vorrichtung weist eine Logikeinheit 18 auf, die an ihrem Ausgang einen Sollwert  $I_{q\_soll}$  für den Querstrom zur Verfügung stellt. Weiterhin ist die Logikeinheit 18 mit mehreren Eingängen versehen. Ein erster Eingang der Logikeinheit 18 ist mit einem übergeordneten Steuergerät 14 verbunden. Ein zweiter Eingang der Logikeinheit 18 ist an den Ausgang eines Batteriespannungsreglers 17 angeschlossen. Dem dritten Eingang der Logikeinheit 18 wird eine Information über die Drehzahl  $n$  der Maschine zugeleitet.

Der Batteriespannungsregler 17 ist eingangsseitig mit einem Batteriespannungssollwertgeber 15 und einem Batterie-

spannungssensor 16 verbunden. Der Batteriespannungssollwertgeber 15, beispielsweise ein übergeordnetes Energiemanagement, liefert dem Batteriespannungsregler 17 die Batteriesollspannung  $U_{Bs}$ . Der Batteriespannungssensor 16 ist zur Messung der Batterieistspannung  $U_{Bi}$  vorgesehen. Die Batterieistspannung wird beispielsweise an einem nichtgezeichneten Zwischenkreiskondensator abgegriffen.

Der Startvorgang verläuft wie folgt: Vom übergeordneten Steuergerät 14 kommt ein Startbefehl, welcher eine Information über das Solldrehmoment  $M_{soll}$  enthält. Aus diesem wird in der Logikeinheit 18 der Querstrom-Sollwert  $I_{q\_soll}$  abgeleitet. Der Querstrom-Sollwert  $I_{q\_soll}$  wird dem stationären Entkopplungsnetzwerk 19 zugeführt, welches ein stationäres Maschinenmodell enthält. In diesem Entkopplungsnetzwerk wird der Querstrom-Sollwert mit Einbeziehung der Drehzahl  $n$  und des abgespeicherten Maschinenmodells in eine Längsspannungskomponente  $u_d$  und eine Querspannungskomponente  $u_q$  der Regelspannung umgesetzt. Dabei wird von einer abgespeicherten Tabelle Gebrauch gemacht, in welcher Maschinenparameter berücksichtigt sind. Je nach Genauigkeit des Maschinenmodells treten bei dieser Umsetzung mehr oder weniger große Einbußen an Performance auf.

Ab einem vorgegebenen Drehzahlschwellenwert, der beispielsweise bei 500 Umdrehungen pro Minute liegt, führt die Umschaltlogik 18 einen Umschaltvorgang durch, aufgrund dessen nunmehr das Ausgangssignal  $I_{dc\_soll}$  des Batteriespannungsreglers 17 als Querstrom-Sollwert  $I_{q\_soll}$  an das Entkopplungsnetzwerk 19 weitergeleitet wird. In diesem wird der Querstrom-Sollwert mit Einbeziehung der Drehzahl  $n$  in eine Längsspannungskomponente  $u_d$  und eine Querspannungskomponente  $u_q$  der Regelspannung umgesetzt. Auch dabei wird von der abgespeicherten Tabelle Gebrauch gemacht, in welcher Maschinenparameter berücksichtigt sind. Ungenauigkeiten im Maschinenmodell werden durch die

übergeordnete Spannungsregelung kompensiert und führen im Generatorbetrieb zu keinem Wirkungsgradverlust.

Die mittels des stationären Maschinenmodells ermittelten Spannungskomponenten  $u_d$  und  $u_q$ , bei denen es sich um Regelspannungskomponenten im rechtwinkligen Koordinatensystem handelt, werden einem inversen Park-Transformator 6 zugeführt. Dieser hat die Aufgabe, die im rechtwinkligen Koordinatensystem vorliegenden Regelspannungskomponenten  $u_d$  und  $u_q$  unter Berücksichtigung des Polradwinkels  $\gamma$ , der von einem Lagegeber 24 ermittelt wird, in Regelspannungskomponenten  $u_a$ ,  $u_b$  und  $u_c$  des 3-Phasen-Drehstromsystems umzuwandeln. Diese werden an einen Pulswechselrichter 7 weitergeleitet, welcher an seinem Ausgang Ansteuerimpulse für die PM-Synchronmaschine 8 zur Verfügung stellt. Der Ausgang des Pulswechselrichters 7 ist über eine Schalteinheit 23 mit der zu steuernden PM-Maschine 8 verbunden.

Die Spannungskomponenten  $u_d$  und  $u_q$  werden weiterhin einer Recheneinheit 20 zugeführt, die aus diesen Spannungskomponenten den Sollwinkel  $\varepsilon$  zwischen der Rotorpolachse und dem Soll-Statorspannungsraumzeiger ermittelt. Dies geschieht gemäß der folgenden Beziehung:

$$\varepsilon = \arctan \frac{u_d}{u_q}.$$

Da bei der feldorientierten Regelung Gleichgrößen mit einer über den gesamten Regelbereich gleichen Zeitkonstante geregelt werden, arbeitet die Recheneinheit 20 mit der gleichen Taktfrequenz wie die Regelung.

Das Ausgangssignal der Recheneinheit 20 wird einem Blockschaltwerk 21 zugeführt, welches direkt vom Polradwinkel  $\gamma$  getaktet wird. Informationen über den Polradwinkel werden - wie bereits oben ausgeführt wurde - beispielsweise mittels eines Lagegebers 24 gewonnen. Das Blockschaltwerk 21, dessen Ausgangssignal ebenfalls der Umschaltlogik 23



zugeführt wird, dient zur Auswahl von Ansteuerimpulsen gemäß eines von sechs möglichen Schaltzuständen des Stromrichters.

- 5 Anstelle eines Blockschaltwerkes kann auch ein dem Blockschaltwerk funktionell entsprechendes Softwareprogramm verwendet werden.

10 In der Umschaltlogik 23 erfolgt eine Umschaltung in dem Sinne, dass entweder die im Pulswechselrichter 7 oder die im Blockschaltwerk 21 generierten Ansteuerimpulse an die PM-Maschine 8 weitergeleitet werden. Diese Umschaltung erfolgt in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n$  unter Berücksichtigung einer einstellbaren Schalthysterese, die mit-  
15 tels der Hystereseschaltung 22 realisiert wird. Der Hysteresebereich liegt beispielsweise zwischen 800 und 1000 Umdrehungen pro Minute.

Mit einer derartigen Ansteuerung wird ein ruckfreier  
20 Übergang vom Pulswechselrichterbetrieb, in welchem die Ausgangssignale des Schaltungsblockes 7 über die Umschaltlogik 23 an die PM-Maschine 8 weitergeleitet werden, in den Blockbetrieb, in welchem die Ausgangssignale des Blockschaltwerks 21 über die Umschaltlogik 23 an die  
25 PM-Maschine 8 weitergeleitet werden, sichergestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für den gesamten Drehzahlbereich dieselbe Reglerstruktur verwendet wird und dass bei der Umschaltdrehzahl das Ausgangssignal des Blockschaltwerks 21 gleich dem Ausgangssignal des Puls-  
30 wechselrichters 7 ist, wobei das Ausgangssignal des Pulswechselrichters 7 mit einer statistischen Winkelungenauigkeit bzw. einem Jitter behaftet ist, welcher mit steigender Drehzahl größer wird und zu unerwünschten Leistungsspendelungen im oberen Drehzahlbereich führt.

35

Der vorstehend beschriebene Übergang vom Pulswechselrichterbetrieb in den Blockbetrieb wird vorgenommen, um

diese unerwünschten Leistungspendelungen im oberen Drehzahlbereich zu vermeiden.

Diese beim Stand der Technik auftretenden Leistungspendelungen im oberen Drehzahlbereich beruhen darauf, dass die Schaltfrequenz des Pulswechselrichters bzw. PWM-Umrichters im Hinblick auf auftretende Verluste nicht zu groß gewählt werden darf. Für den Anwendungsfall in einem Kurbelwellenstartergenerator wird deshalb mit einer PWM-Frequenz von beispielsweise 8 kHz gearbeitet. Der Zusammenhang zwischen der Drehzahl und der Stromgrundschnungsfrequenz lautet wie folgt:

$$f = \frac{n}{60} \cdot p.$$

15

Für den Drehzahlbereich eines  $2 \cdot p = 24$ -poligen Kurbelwellenstartergenerators, dessen Drehzahlbereich zwischen 0 und 6500 Umdrehungen pro Minute liegt, ist damit ein Frequenzbereich von 0 - 1300 Hertz erforderlich. Dies ist in der Figur 3 gezeigt, welche ein Diagramm zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Stromgrundschnungsfrequenz von der Drehzahl zeigt. In diesem Diagramm ist auf der Abszisse die Drehzahl  $n$  in Umdrehungen pro Minute und auf der Ordinate die Frequenz  $f$  in Hertz aufgetragen.

25

Da über den gesamten Betriebsbereich eine PWM-Frequenz von 8 kHz vorliegt, ergibt sich aufgrund des Verhältnisses von Stromgrundschnung zu Pulsfrequenz eine Winkelungenauigkeit bezüglich des Soll-Spannungsnulldurchgangs und des tatsächlich geschalteten Spannungsnulldurchgangs. Dies ist in der Figur 4 gezeigt, welche für eine PWM-Frequenz von 8 kHz ein Diagramm zur Veranschaulichung des maximalen Winkelfehlers bezogen auf den Soll-Spannungsnulldurchgang in Abhängigkeit von der Drehzahl zeigt. In diesem Diagramm ist auf der Abszisse die Dreh-

35

zahl  $n$  in Umdrehungen pro Minute und auf der Ordinate der Winkel-Fehler  $WF$  in Grad aufgetragen.

5 Diese statistische Ungenauigkeit bzw. dieser Jitter führt zu unerwünschten Leistungspendelungen im oberen Drehzahlbereich. Um diese statistische Ungenauigkeit zu vermeiden, erfolgt gemäß dem oben anhand der Figur 2 beschriebenen Ausführungsbeispiel eine drehzahlabhängige Umschaltung bzw. ein drehzahlabhängiger Übergang von einem PWM-  
10 Betrieb in einen Blockbetrieb. Alternativ dazu könnten die genannten Leistungspendelungen auch durch eine Erhöhung der PWM-Frequenzen, beispielsweise auf Schaltfrequenzen bis zu 90 kHz, vermieden werden. Dies ist aber wegen hoher Schaltverluste und wegen des hohen Stromrichteraufwandes nicht sinnvoll.  
15

Weitere Vorteile des in der Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiels bestehen darin, dass nur eine geringe zusätzliche Prozessorbelastung vorliegt, da die Recheneinheit  
20 20 drehzahlunabhängig mit der konstanten Regelfrequenz arbeiten kann. Im Falle eines PWM-Betriebes über den gesamten Regelbereich müsste die PWM-Frequenz und damit die Frequenz für die inverse Park-Transformation mit der Drehzahl erhöht werden, was eine große Prozessorbelastung zur Folge hätte.  
25

Weiterhin ist die Schaltfrequenz des Stromrichters klein. Damit verbunden sind niedrige Schaltverluste des Stromrichters.  
30

Ferner werden die auf eine PWM-Taktung zurückzuführenden Winkelungenauigkeiten eliminiert und damit auch die auf diese zurückzuführenden unerwünschten Leistungspendelungen. Die Winkelgenauigkeit hängt nur vom Lagegeber selbst  
35 ab.

## Bezugszeichenliste

	1	Längsstromregler
5	2	Querstromregler
	3	Begrenzer
	4	Begrenzer
	5	Entkopplungsnetzwerk
	6	Inverser Park-Transformator
10	7	Pulswechselrichter
	8	PM-Synchronmaschine
	9	Längsstrom-Sollwertgeber
	10	Betragsbildner
	11	Schwellwertschalter
15	12	Überlagerungsglied
	13	Park-Transformator
	14	übergeordnete Steuerung (Motorsteuergerät)
	15	Batteriespannungs-Sollwertgeber
	16	Batteriespannungssensor
20	17	Batteriespannungsregler
	18	Logikeinheit
	19	Entkopplungsnetzwerk mit stationärem Maschinenmodell
	20	Recheneinheit
25	21	Blockschaltwerk
	22	Hystereseschaltung
	23	Umschaltlogik
	24	Lagegeber für Polradwinkel
	ia, ib, ic Phasenströme aus dem 3-Phasen-Drehstromsystem	
30	Id_ist	Längsstrom-Istwert
	Id_soll	Längsstrom-Sollwert
	Iq_ist	Querstrom-Istwert
	Iq_soll	Querstrom-Sollwert
	Id*	Stellgröße für den Längsstrom
35	Idc_soll	Querstrom-Sollwert vom Batteriespannungsregler
	Iq*	Stellgröße für den Querstrom
	M_soll	Solldrehmoment
	n	Drehzahl

ua, ub, uc Regelspannungen für das 3-Phasen-Drehstromsystem

$U_{Bs}$  Batteriespannungs-Sollwert

$U_{Bi}$  Batteriespannungs-Istwert

5  $u_d, u_d'$  Längskomponenten der Regelspannung

$u_q, u_q'$  Querkomponenten der Regelspannung

WF Winkelfehler

$\varepsilon$  Sollwinkel

$\gamma$  Polradwinkel

10

## 5 Patentansprüche

1. Verfahren zur feldorientierten Regelung einer permanentmagneterregten Synchronmaschine mit folgenden Verfahrensschritten:
- 10 rensschritten:
- Ermittlung eines Querstrom-Sollwertes ( $I_{q\_soll}$ ),
  - Zuführen des ermittelten Querstrom-Sollwertes und einer Information über die Drehzahl an ein stationäres Maschinenmodell enthaltendes Entkopplungsnetzwerk,
  - 15 - Ermittlung einer Längsspannungskomponente ( $u_d$ ) und einer Querspannungskomponente ( $u_q$ ) im Entkopplungsnetzwerk in alleiniger Abhängigkeit vom Querstrom-Sollwert, der Information über die Drehzahl und dem stationären Maschinenmodell, und
  - 20 - Umwandlung der Längsspannungskomponente ( $u_d$ ) und der Querspannungskomponente ( $u_q$ ) in Ansteuerimpulse für die Synchronmaschine.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
- 25 zeichnet, dass der Querstrom-Sollwert in einer Logikeinheit ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Logikeinheit in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Drehzahlschwellenwert ein Umschaltvorgang durchgeführt wird.
- 30
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Drehzahlen, die kleiner sind als der vorgegebene Drehzahlschwellenwert, der Querstrom-Sollwert ( $I_{q\_Soll}$ ) von einem übergeordneten Steuergerät
- 35 (14) abgeleitet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Querstrom-Sollwert aus einem vom übergeordneten Steuergerät (14) vorgegebenen Soll-Drehmoment abgeleitet wird.

5

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Soll-Drehmoment das Start-Drehmoment ist.

10 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 - 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei Drehzahlen, die größer sind als der vorgegebene Drehzahlschwellenwert, der Querstrom-Sollwert ( $I_{q\_soll}$ ) von einem Batteriespannungsregler (17) abgeleitet wird.

15

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Batteriespannungsregler (17) den Querstrom-Sollwert in Abhängigkeit von einem von einem übergeordneten Energiemanagement gelieferten Batteriespannungs-Sollwert und einem von einem Batteriespannungssensor gelieferten Batteriespannungs-Istwert ermittelt.

20

9. Vorrichtung zur feldorientierten Regelung einer permanentmagneterregten Synchronmaschine mit

25

- einem ein stationäres Maschinenmodell enthaltenden Entkopplungsnetzwerk (19), welches einen Eingang für einen Querstrom-Sollwert ( $I_{q\_soll}$ ) und einen Eingang für eine Information über die Drehzahl aufweist und welches zur Ermittlung einer Längsspannungskomponente ( $u_d$ ) und einer Querspannungskomponente ( $u_q$ ) in alleiniger Abhängigkeit vom Querstrom-Sollwert, der Information über die Drehzahl und dem stationären Maschinenmodell vorgesehen ist, und

30

35 - eine an das Entkopplungsnetzwerk (19) angeschlossene Umwandlungseinheit (6, 7, 20, 21, 23) zur Umwandlung der ermittelten Längsspannungskomponente ( $u_d$ ) und der

ermittelten Querspannungskomponente ( $u_q$ ) in Ansteuerimpulse für die Synchronmaschine.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
5     zeichnet, dass sie eine Logikeinheit (18) enthält,  
die einen Ausgang für den Querstrom-Sollwert ( $I_{q\_soll}$ )  
aufweist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,  
10     zeichnet, dass die Logikeinheit (18) einen Eingang  
für eine Information über die Drehzahl aufweist und zur  
Durchführung eines Umschaltvorganges in Abhängigkeit von  
einem vorgegebenen Drehzahlschwellenwert vorgesehen ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,  
15     zeichnet, dass die Logikeinheit (18) bei Drehzählen,  
die kleiner sind als der vorgegebene Drehzahlschwellen-  
wert, einen von einem übergeordneten Steuergerät (14) ab-  
geleiteten Querstrom-Sollwert an ihrem Ausgang ausgibt.  
20
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,  
   zeichnet, dass die Logikeinheit (18) den Querstrom-  
Sollwert aus einem vom übergeordneten Steuergerät (14)  
abgeleiteten Soll-Drehmoment ableitet.  
25
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet,  
   zeichnet, dass das Soll-Drehmoment das Start-  
Drehmoment ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 - 14, da-  
30     durch gekennzeichnet, dass die Logikeinheit (18)  
bei Drehzählen, die größer sind als der vorgegebene Dreh-  
zahlschwellenwert, einen von einem Batteriespannungsreg-  
ler (17) gelieferten Querstrom-Sollwert an ihrem Ausgang  
35     ausgibt.



16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Batteriespannungsregler (17) einen Batteriespannungs-Sollwerteingang aufweist, welcher mit einem übergeordneten Energiemanagement (15) verbunden ist, und einen Batteriespannungs-Istwerteingang aufweist, welcher mit einem Batteriespannungssensor (16) verbunden ist.

1/3

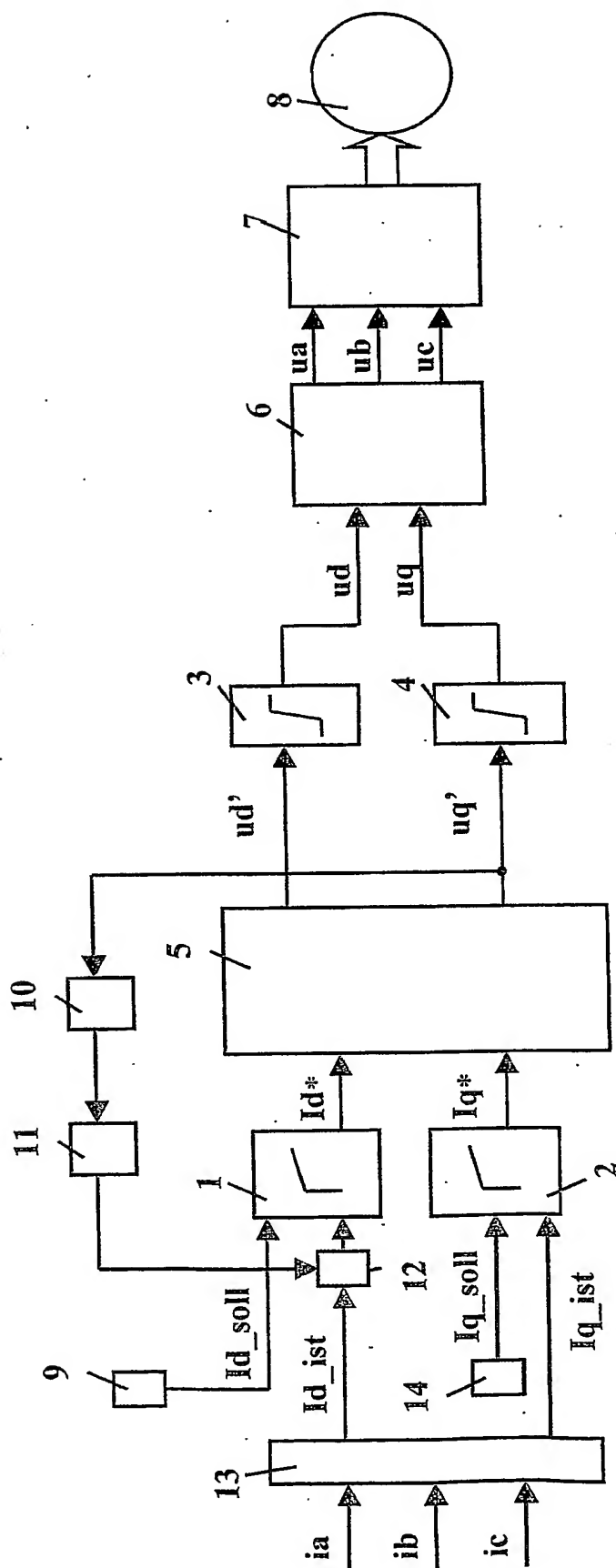


FIG. 1

2/3

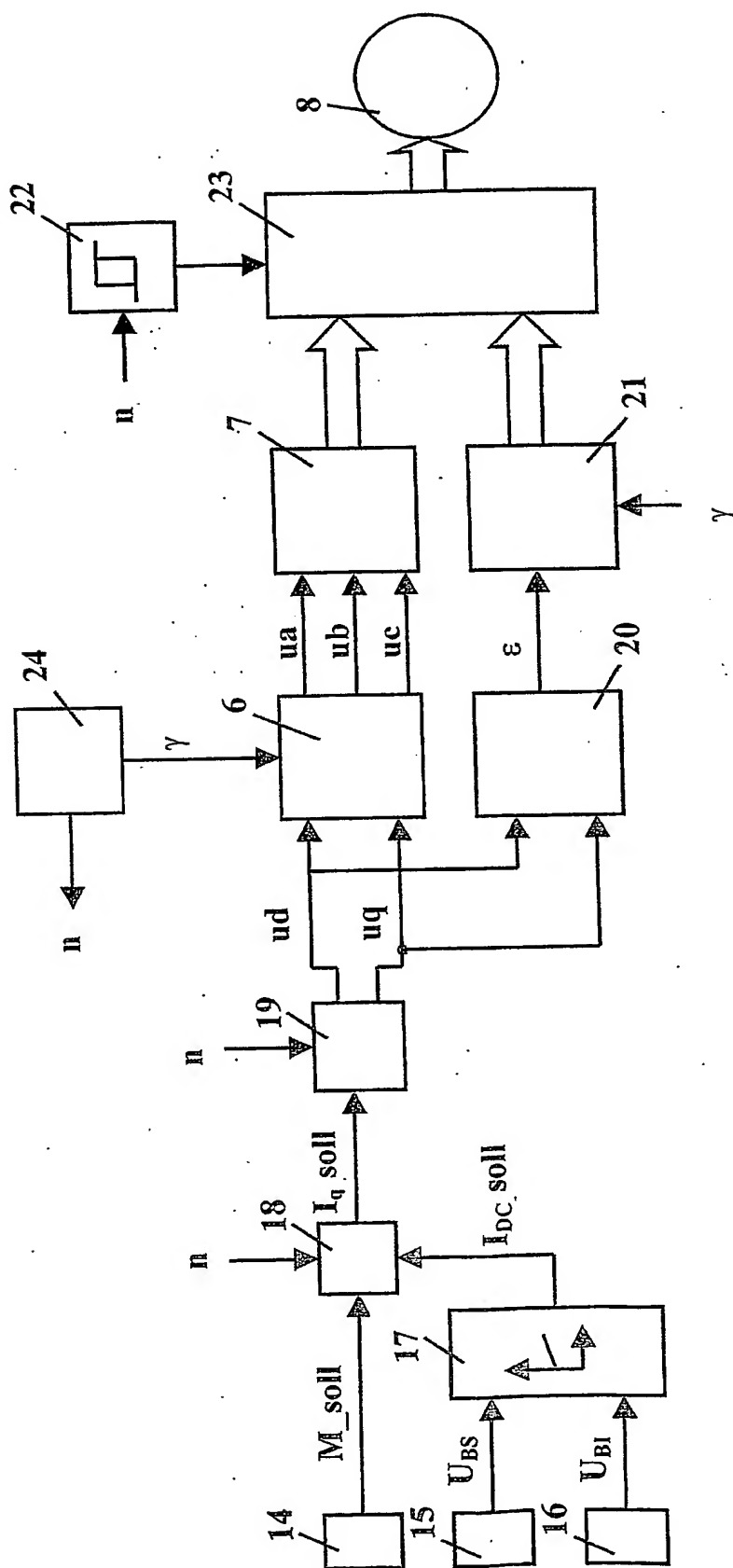
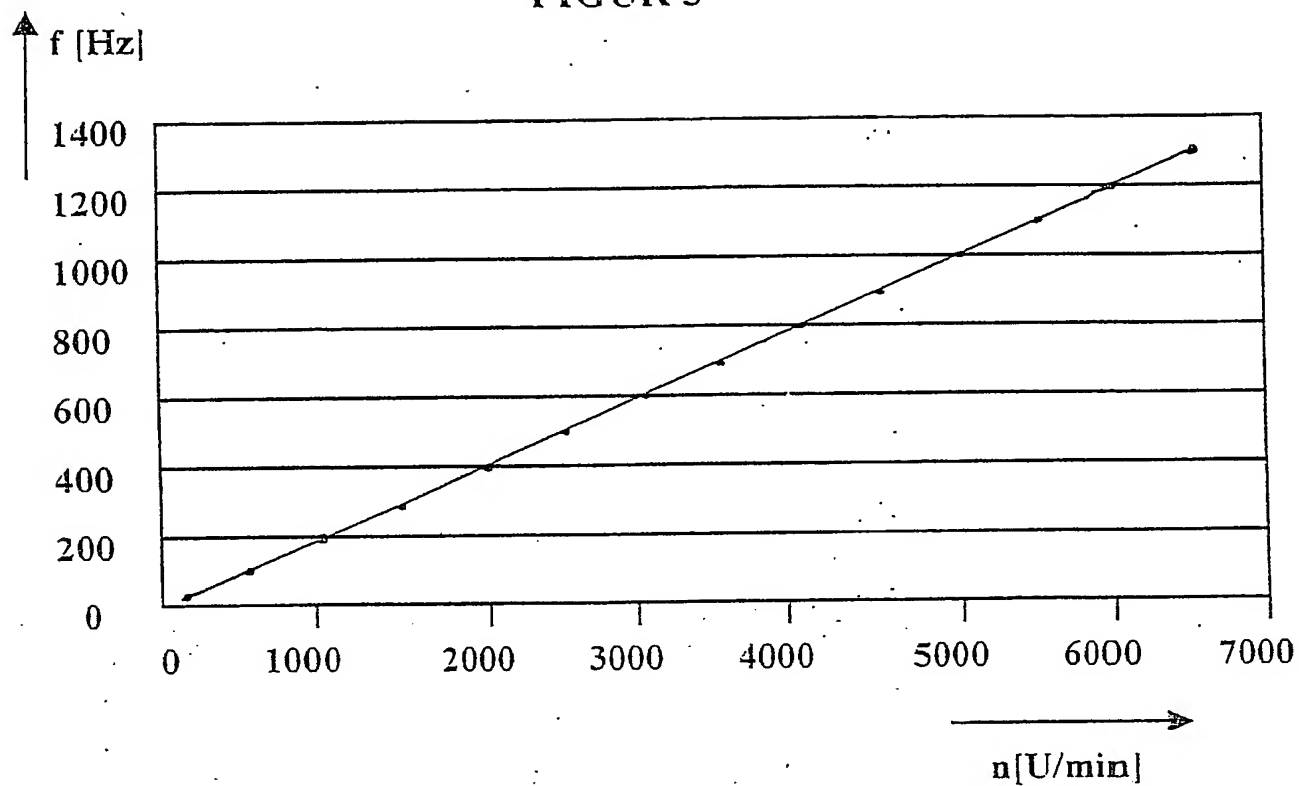


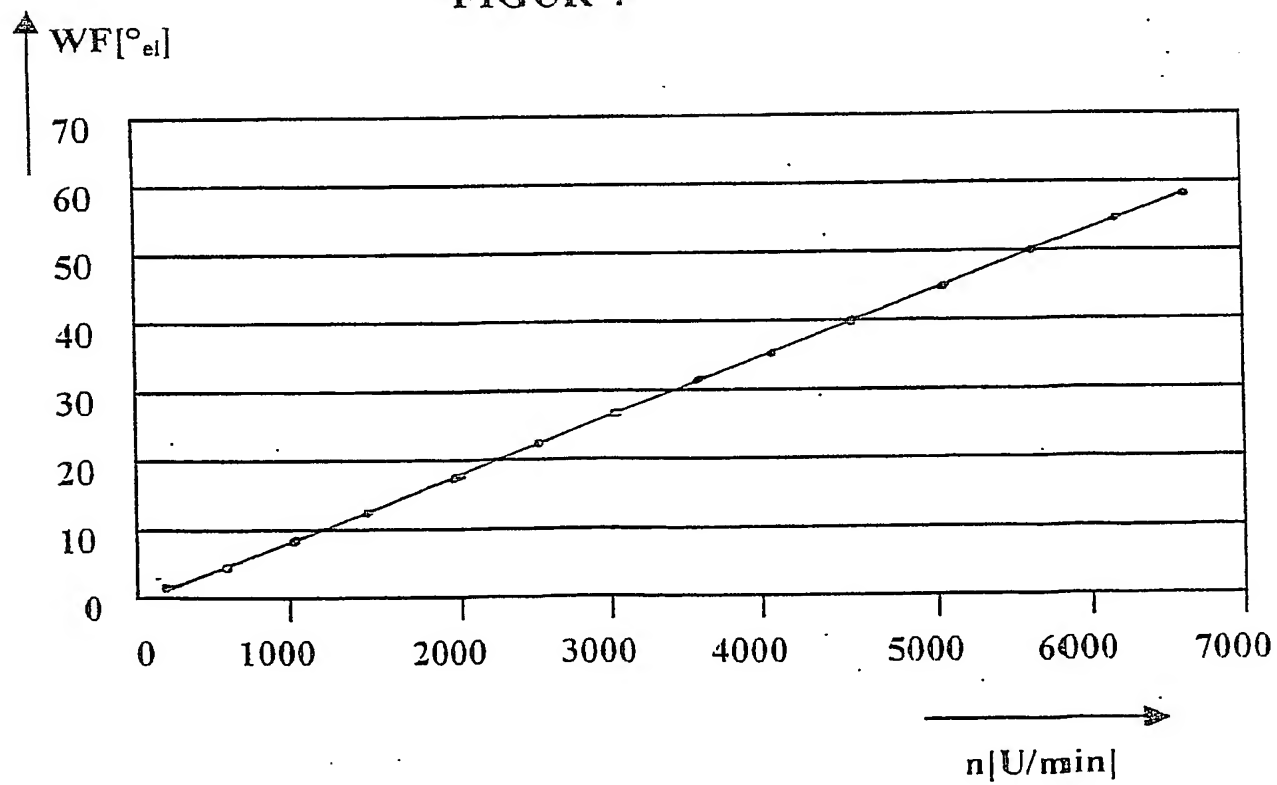
FIG. 2

3/3

FIGUR 3



FIGUR 4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

P 03/00375

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02P21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MORIMOTO S ET AL: "WIDE-SPEED OPERATION OF INTERIOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS WITH HIGH-PERFORMANCE CURRENT REGULATOR" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 30, no. 4, 1 July 1994 (1994-07-01), pages 920-926, XP000469578 ISSN: 0093-9994 the whole document	1-16
A	EP 1 187 307 A (BOSCH GMBH ROBERT) 13 March 2002 (2002-03-13) cited in the application paragraphs '0007!-'0023!; figure 1 -/--	1-16

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### ° Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*8\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 September 2003

Date of mailing of the international search report

26/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Braccini, R

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/JP 03/00375

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01 20751 A (DELPHI TECH INC) 22 March 2001 (2001-03-22) abstract; figure 2 page 1, line 14 -page 3, line 16 -----	1-16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PO 03/00375

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1187307	A	13-03-2002	DE 10044181 A1	04-04-2002
			EP 1187307 A2	13-03-2002
WO 0120751	A	22-03-2001	EP 1219010 A1	03-07-2002
			EP 1219015 A1	03-07-2002
			JP 2003523703 T	05-08-2003
			JP 2003510002 T	11-03-2003
			JP 2003516703 T	13-05-2003
			WO 0120751 A2	22-03-2001
			WO 0120761 A1	22-03-2001
			WO 0120767 A1	22-03-2001
			US 6465975 B1	15-10-2002
			US 6498449 B1	24-12-2002
			US 6373211 B1	16-04-2002

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H02P21/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	MORIMOTO S ET AL: "WIDE-SPEED OPERATION OF INTERIOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS WITH HIGH-PERFORMANCE CURRENT REGULATOR" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 30, Nr. 4, 1. Juli 1994 (1994-07-01), Seiten 920-926, XP000469578 ISSN: 0093-9994 das ganze Dokument ---	1-16
A	EP 1 187 307 A (BOSCH GMBH ROBERT) 13. März 2002 (2002-03-13) in der Anmeldung erwähnt Absätze '0007!-'0023!; Abbildung 1 --- -/--	1-16

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. September 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

26/09/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Braccini, R



## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 01 20751 A (DELPHI TECH INC) 22. März 2001 (2001-03-22) Zusammenfassung; Abbildung 2 Seite 1, Zeile 14 -Seite 3, Zeile 16 -----	1-16

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/E 03/00375

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1187307 A	13-03-2002	DE 10044181 A1	04-04-2002
		EP 1187307 A2	13-03-2002
WO 0120751 A	22-03-2001	EP 1219010 A1	03-07-2002
		EP 1219015 A1	03-07-2002
		JP 2003523703 T	05-08-2003
		JP 2003510002 T	11-03-2003
		JP 2003516703 T	13-05-2003
		WO 0120751 A2	22-03-2001
		WO 0120761 A1	22-03-2001
		WO 0120767 A1	22-03-2001
		US 6465975 B1	15-10-2002
		US 6498449 B1	24-12-2002
		US 6373211 B1	16-04-2002